

# GEOMETRÍA Y CINEMÁTICA DE LAS ESTRUCTURAS TECTÓNICAS EN EL EXTREMO SEPTENTRIONAL DE LA FAJA CORRIDA Y PLEGADA DEL AGRIO, CUENCA NEUQUINA

Fernando LEBINSON<sup>1,2</sup>, Martín TURIENZO<sup>1,2</sup>, Natalia SÁNCHEZ<sup>1,2</sup>, Vanesa ARAUJO<sup>1,2</sup> y Luis V. DIMIERI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> INGEOSUR-CONICET

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca (8000). Email: fernando.lebinson@uns.edu.ar

## RESUMEN

El extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio se destaca por presentar diversos estilos de pliegues relacionados a fallas, formados por la interacción entre estructuras de piel gruesa y de piel fina. En el sector occidental de la zona de estudio se observa un anticlinal de varios kilómetros de longitud de onda en cuyo núcleo afloran las sedimentitas del Grupo Cuyo (Jurásico temprano-medio) y de esta manera se infirió la participación en profundidad del basamento en la deformación. Hacia el este, se identificaron pliegues de menor longitud de onda asociados a fallas que despegan principalmente en la Formación Auquilco, y en niveles secundarios como las formaciones Vaca Muerta, Agrio y Huitrín. En el área del arroyo Truquico, se ha desarrollado una zona triangular a partir de anticlinales con vergencia opuesta relacionados a estructuras de piel fina en donde se documentaron depósitos sinorogénicos plegados de posible edad miocena. Se elaboró una sección balanceada a los 37°27' de latitud sur con el fin de interpretar el estilo estructural de la región, el cual se caracteriza por presentar cuñas de basamento desarrolladas como pliegues por flexión de falla que se propagan en las evaporitas de la Formación Auquilco transmitiendo la deformación hacia el antepaís generando estructuras de piel fina. La restitución de la sección estructural interpretada permitió estimar un acortamiento tectónico de 13,1 km (22,6%).

**Palabras clave:** *Cuñas de basamento, estructuras de piel fina, deformación andina, sección balanceada*

## ABSTRACT

*Geometry and kinematics of tectonic structures in the northern end of the Agrio fold and thrust belt, Neuquén Basin*

The northern end of the Agrio fold and thrust belt is known for its different styles of fault-related folds formed by the interaction of thick and thin-skinned structures. In the western sector of the study area, it was found a kilometer scale anticline that has the oldest sedimentary rocks of the Cuyo Group (Early-Middle Jurassic) in its core. In this way, the participation in depth of the basement was inferred in the deformation. In the eastern sector, folds were identified with a shorter wavelength associated with faults mainly detached in the Auquilco Formation and along secondary levels such as the Vaca Muerta, Agrio and Huitrín formations. In the Truquico stream area, there is a triangular zone originated by anticlines with opposite vergence. They are related to thin-skinned structures, where folded synorogenic deposits of possible Miocene age were surveyed. A balanced cross-section was constructed at 37°27' S in order to interpret the structural style of the region characterized by basement wedges developed as fault-bend folds. It propagates into the evaporites of the Auquilco Formation transmitting the deformation toward the foreland and generating thin-skinned structures. The restoration of the interpreted structural cross-section allows to estimate a tectonic shortening of 13.1 km (22.6%).

**Keywords:** *Basement wedges, thin-skinned structures, andean deformation, balanced cross-section*

## INTRODUCCIÓN

La faja corrida y plegada del Agrio (FCPA), localizada en el centro-oeste de la Provincia del Neuquén (Fig. 1a), está caracterizada por una intensa deformación vinculada a la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana. En esta región se puede estudiar la secuencia casi completa de la Cuenca Neu-

quina debido al desarrollo de grandes estructuras en profundidad y a la existencia de numerosos pliegues relacionados a corrimientos en la cubierta sedimentaria. Existen diversas interpretaciones sobre los mecanismos de desplazamiento utilizados para transmitir la deformación entre las estructuras de piel gruesa y piel fina que forman la faja corrida y plegada. Algunos autores consideran la generación

de nuevos corrimientos de bajo ángulo en los que la rampa de la falla corta tanto al basamento como a parte de la cubierta sedimentaria, y el desplazamiento transferido es asimilado por estructuras de piel fina con niveles de despegue en distintas unidades sedimentarias mesozoicas (Nocioni 1996, Kozłowski *et al.* 1998, Sánchez *et al.* 2014, Turienzo *et al.* 2014). Por otra parte, se ha considerado que la deforma-



**Figura 1:** a) Esquema regional de las fajas corridas y plegadas en la Provincia del Neuquén indicando el área de trabajo. CM: Chos Malal; FCPC: faja corrida y plegada de Chos Malal; FCPA: faja corrida y plegada del Agrio; b) Imagen satelital del área de estudio.

ción en dicha faja podría ser producto de la inversión tectónica de las fallas normales jurásicas de la etapa rift de la Cuenca Neuquina (Booth y Coward 1996, Ramos 1998, Zapata *et al.* 1999, Zapata y Folguera 2005, Zamora Valcarce 2007).

La zona de estudio se ubica al sur de la localidad de Chos Malal, Provincia del Neuquén, entre los cerros Caicayén y Curacó (Fig. 1b). En este trabajo se describirán las estructuras presentes en la región, detallando sus características geométricas a partir del mapeo y de los datos estructurales relevados en el campo. La integración de la geología de superficie con la información de subsuelo disponible como líneas sísmicas y datos de pozos permitió elaborar una sección estructural balanceada a los 37°27' de latitud sur, y estimar así, el acortamiento tectónico resultante de la deformación. A partir de las geometrías de los pliegues y de las relaciones estructurales entre los mismos, se propone un modelo cinemático para explicar la evolución de las principales estructuras que conforman el extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio.

## ANTECEDENTES

Los primeros estudios realizados en detalle de las estructuras en la región cordillerana de la Cuenca Neuquina se deben a Groeber (1929), quien identificó los prin-

cipales elementos tectónicos presentes en la Cordillera Principal. Posteriormente, dado el interés científico y económico de la región norte de Neuquén, se efectuaron numerosos estudios regionales sobre la estratigrafía y la estructura (Groeber 1946, Zöllner y Amos 1973, Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995, Kozłowski *et al.* 1998, Zapata *et al.* 1999, Zapata y Folguera 2005, Leanza *et al.* 2006, Zamora Valcarce *et al.* 2009, Rojas Vera *et al.* 2014, Sánchez *et al.* 2014, entre otros).

La faja corrida y plegada del Agrio, definida inicialmente por Braccacini (1970) como “fosa del Agrio”, está caracterizada principalmente por pliegues con ejes doblemente buzantes, con orientación regional norte-sur, relacionados a propagación de fallas en profundidad (Viñes 1985, Zapata *et al.* 1999). En el extremo norte, el lineamiento Cortaderas (Ramos 1978) representa el límite estructural que divide la faja corrida y plegada del Agrio de la faja de Chos Malal (Fig. 1a). Este lineamiento se extiende en sentido oeste-sureste desde la localidad de Chos Malal hasta el cerro Tormenta, ubicado en la región de Huantraico, y es considerado un corrimiento con vergencia al noreste por Cobbold y Rossello (2003).

De acuerdo al predominio de estructuras de basamento o de piel fina, la faja corrida y plegada del Agrio ha sido dividida generalmente en una zona interna y

una zona externa (Ramos 1978, Zapata y Folguera 2005). Se denomina zona interna al sector occidental correspondiente a la región que ha sido interpretada como parte del sistema extensional mesozoico de Tres Chorros (Vergani *et al.* 1995). Dicho sector está caracterizado por altos en el basamento que han dado lugar a una serie de braquianticlinales que según Zamora Valcarce *et al.* (2011) son producto, al menos parcialmente, de la inversión de estructuras extensionales previas. En cambio hacia el este, la deformación en la zona externa está representada por pliegues despegados principalmente en la Formación Auquínco (Viñes 1985, Zapata *et al.* 2002), donde además a partir de información del subsuelo también se han reconocido estructuras con participación del basamento (Zapata *et al.* 2002, Zamora Valcarce *et al.* 2009).

## MARCO GEOLÓGICO

La faja corrida y plegada del Agrio se encuentra localizada en la región centro-occidental de la Cuenca Neuquina, donde diversos eventos tectónicos y ciclos sedimentarios y magmáticos se han sucedido desde el Paleozoico hasta la actualidad (Fig. 2). En la región de la Cordillera del Viento afloran las unidades más antiguas del norte neuquino, correspondientes a los grupos Andacollo y Choyoi, los cua-

les constituyen el basamento de la Cuenca Neuquina (Zöllner y Amos 1973, Digregorio y Uliana 1980). En general, el basamento está formado por rocas meta-sedimentarias marinas y rocas volcánicas de edad paleozoica superior del Grupo Andacollo (Zöllner y Amos 1973, Danieli *et al.* 2011) y por cuerpos intrusivos y rocas volcánicas - volcanoclásticas del Grupo Choiyoi de edad permotriásica (Llambías *et al.* 2007). Sobre este basamento se desarrolló el Ciclo Precuyano, que según Leanza *et al.* (2013) está integrado por las formaciones Cordillera del Viento, Milla Michicó y La Primavera (Fig. 2). Estas unidades se consideran como depósitos de tipo sinrift de la Cuenca Neuquina (Legarreta y Gulisano 1989, Vergani *et al.* 1995). En la zona de estudio, localizada al sur de la Cordillera del Viento, no existen afloramientos ni del basamento ni del Ciclo Precuyano, pero si fue posible su interpretación en la línea sísmica 15009.

La sedimentación en la Cuenca Neuquina, desde el Jurásico temprano hasta el fin del Cretácico temprano, estuvo asociada a numerosos ciclos marinos transgresivos-regresivos desarrollados en una cuenca de retroarco (Vergani *et al.* 1995). Inicialmente se depositaron las sedimentitas del Grupo Cuyo, durante el Pliensbaquiano - Calloviano, que evidencia una importante ingresión marina en la cuenca. Dicho grupo está integrado en el área de estudio por las formaciones Los Molles y Tábanos, expuestas en el arroyo Rahueco al sur del cerro Caicayén (Fig. 3). La Formación Los Molles está formada por 800 metros, en su mayoría de lutitas negras, con intercalaciones de areniscas, calizas y tobas, con abundantes fósiles marinos. En concordancia, se encuentra la Formación Tábanos con un espesor aproximado de 10 metros, formada por evaporitas y calizas de color gris claro, que constituyen un elemento guía para reconstruir las estructuras tectónicas de la región.

Durante el Calloviano y Oxfordiano, se depositaron las sedimentitas del Grupo Lotena, correspondiente al segundo ciclo sedimentario de relleno de la Cuenca Neuquina. En la región del arroyo

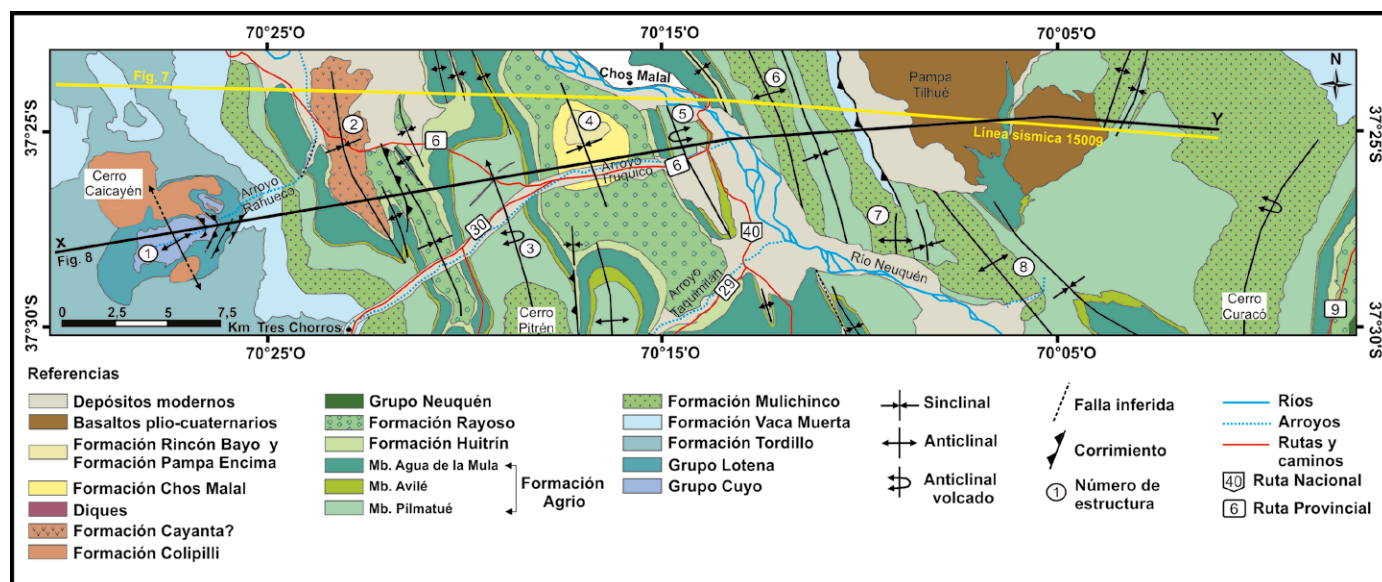
ERA	PERÍODO	ÉPOCA/EDAD	Ma	FORMACIÓN	GRUPO
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0,01	Depósitos aluviales y coluviales modernos	Naunauco Malargüe Neuquén Bajada del Agrio Mendoza Lotena Cuyo Ciclo Precuyano Choiyoi Andacollo
		Pleistoceno		Basaltos	
	Neógeno	Plioceno	2,5	Pampa Encima	
		Mioceno	5,3	Rincón Bayo	
				Chos Malal	
			23	?	
	Paleógeno	Oligoceno	33,9	Cayanta	
		Eoceno	56	Colipilli	
		Paleoceno	66	Pircala	
			72,1	Roca	
Mesozoico	Cretácico	Superior	Maastrichtiano	Loncoche	Neuquén
			Campaniano	Río Colorado	
			Santoniano	Río Neuquén	
			Coniaciano	Río Limay	
			Turoniano	Rayoso	
		Inferior	Cenomaniano	Mb. Salina	
			Albiano	Mb. La Tosca	
			Aptiano	Mb. Troncoso	
			Barremiano	Mb. Agua de la Mula	
			Hauteriviano	Mb. Avilé	
			Valanginiano	Mb. Pilmatué	
			Berriasiano	Mulichinco	
			139,8	Vaca Muerta	
			145	Tordillo	
	Jurásico	Superior	Tithoniano	Auquílco	Lotena
			Kimmeridgiano	La Manga	
			Oxfordiano	Lotena	
		Medio	Calloviano	Tábanos	
			Bathoniano	Los Molles	
			Bajociano	Chachil	
			Aaleniano	La Primavera	
			Toarciano	Milla Michicó	
		Inferior	Pliensbaquiano	Cordillera del Viento	
			Sinemuriano		
			Hettangiano		
Paleozoico	Triásico	Sup.	201,3		Cuyo
		Med. Sup.	237		
		Inf.	247,2		
	Pérmico		252		
			298		
Paleozoico	Carbónico			La Premio	Choiyoi
				Granito Huigancó	
				Huaraco	
Paleozoico	Carbónico			Arroyo del Torreón	Andacollo

**Figura 2:** Cuadro estratigráfico de la cuenca Neuquina en la región de estudio (basado en Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995, Leanza *et al.* 2006; 2013).

Rahueco se identificaron las formaciones Lotena, La Manga y Auquílco con un espesor total de 170 metros. La Forma-

ción Lotena está integrada por areniscas y conglomerados con presencia de restos de troncos fósiles, con un espesor aproxi-





**Figura 3:** Mapa geológico del extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio. 1. Anticlinal Rahueco. 2. Sinclinal Rahueco. 3. Anticlinal Cerro Pitrén. 4. Sinclinal Truquico. 5. Anticlinal Truquico. 6. Anticlinal-Sinclinal Tilhué Oeste. 7. Anticlinal-Sinclinal Tilhué Este. 8. Anticlinal-Sinclinal Pampa Tilhué.

mado de 120 metros. La Formación La Manga está formada por calizas y lutitas de color gris azulado con restos de amonites. Por último, la Formación Auquilco esta escasamente representada en el área de estudio, y solo se observan unos pequeños afloramientos de yeso blanquecino al norte del arroyo Rahueco.

Entre el Jurásico tardío y el Cretácico temprano, se acumularon las sedimentitas del Grupo Mendoza, constituido en la región al sur de la localidad de Chos Malal por las formaciones Tordillo, Vaca Muerta, Mulichinco y Agrio (Figs. 2 y 3). La Formación Tordillo, de edad kimberidgiana, aflora en ambos limbos del anticlinal Rahueco al sur del cerro Caicayén (Fig. 3), con aproximadamente 550 metros de espesor y formada esencialmente por areniscas y conglomerados finos rojizos. Hacia el este del área de estudio, en la región de Pampa Tril, el espesor de la Formación Tordillo disminuye notablemente hasta alcanzar unas pocas decenas de metros como se observa en los datos del pozo YPF.Nq.Pt.x-1 (37°12'23.68"S 69°43'59.08"O). La Formación Vaca Muerta está constituida principalmente por lutitas negras, con intercalaciones de calizas y abundantes fósiles marinos que fueron depositados entre el Tithonian temprano y el Valanginiano tempra-

no (Leanza *et al.* 2011). Los afloramientos de la Formación Vaca Muerta se concentran al este y norte del cerro Caicayén, con un espesor aproximado de 650 metros. La Formación Mulichinco aflora en el flanco oriental del anticlinal Rahueco y en el resto del área en los núcleos de los anticlinales mayores (Fig. 3). Está integrada por areniscas y areniscas calcáreas con niveles de coquinas de edad valanginiana temprana a tardía (Leanza 1973). En concordancia se encuentra a la Formación Agrio, ampliamente distribuida en zona norte de la Provincia del Neuquén, cuya edad se extiende desde el Valanginiano tardío hasta el Barremiano temprano (Aguirre Urreta *et al.* 2008). La Formación Agrio tiene un espesor aproximado de 950 metros, y está integrada por tres miembros denominados Pilmatué, Avilé y Agua de la Mula (Leanza y Hugo 2001). Los miembros Pilmatué y Agua de la Mula se caracterizan por presentar un predominio de lutitas, con algunas intercalaciones de calizas y con abundante fauna de invertebrados marinos. En el Miembro Agua de la Mula también se han reconocido facies de ambiente marino marginal hacia el tope de la secuencia (Fernández y Pazos 2012). Por otra parte, el Miembro Avilé, de edad hauteriviana, está constituido principalmente por areniscas con estructuras se-

dimentarias bien desarrolladas como estratificación cruzada planar y en artesa de ambiente continental fluvial y eólico (Veiga *et al.* 2002), con un espesor entre 50 y 70 metros en el área de estudio.

El Grupo Bajada del Agrio, del Cretácico Inferior, está compuesto por las formaciones Huitrín y Rayoso (Méndez *et al.* 1995), las cuales afloran principalmente en los núcleos de los sinclinales. La primera unidad posee un espesor entre 120 y 150 metros, y está integrada por los miembros Troncoso, La Tosca y Salina. El Miembro Troncoso tiene una sección inferior compuesta de areniscas, y una sección superior formada por evaporitas blanquecinas (yeso y anhidrita). El Miembro La Tosca está compuesto por dolomitas y calizas con fósiles de invertebrados marinos. Por último, se encuentra el Miembro Salina que tiene poca representación en la zona de estudio, constituido por arcilitas y limolitas con niveles de evaporitas. La Formación Rayoso de edad aptiana superior a albiana, está integrada por evaporitas, areniscas y fangolitas rojizas, con un espesor en el orden de los 300 metros.

En discordancia con el Grupo Bajada del Agrio, se encuentra el Grupo Neuquén (Stipanovic *et al.* 1968) del Cretácico Superior. Este grupo está constituido en su mayoría por conglomerados y areniscas

rojizas, y aflora esencialmente al este del cerro Curacó. La depositación del Grupo Neuquén se encuentra vinculada al inicio de la fase de antepaís de la Cuenca Neuquina, originada como consecuencia de una tectónica compresional sobre el margen andino a fines del Cretácico Tardío (Tunik *et al.* 2010).

Entre el Cretácico Superior tardío y el Eoceno, se desarrolló en la región una intensa actividad magmática evidenciada por el Grupo Naunaucó (Zamora Valcarce 2007) cuyos afloramientos se encuentran en las áreas de Colipilli, Naunaucó, Caicayén, Mayal, Andacolli y Cayanta (Llambías y Aragón 2011). El Grupo Naunaucó incluye a la Formación Colipilli (Llambías y Rapela 1989) que consta de cuerpos intrusivos y facies extrusivas, y a la Formación Cayanta (Rapela y Llambías 1985) compuesta por coladas y brechas volcánicas. El cerro Caicayén, ubicado al oeste de la zona de estudio, consiste en un cuerpo intrusivo principal rodeado por numerosos diques y filones capa de menor tamaño, que se encuentran emplazados en las rocas de los grupos Cuyo, Lotena y Mendoza. La edad del intrusivo fue determinada por Llambías y Rapela (1989) por el método K-Ar en  $44,7 \pm 2,2$  Ma. En el núcleo del sinclinal Rahueco, al este del cerro Caicayén, se registraron brechas volcánicas y basaltos cubriendo en discordancia a las formaciones Huitrín y Rayoso. Esta secuencia podría ser correlacionada litológicamente con las rocas volcánicas de la Formación Cayanta, sin embargo, no existen dataciones para confirmar dicha correlación.

En el arroyo Truquico, en el núcleo de un sinclinal (Fig. 3) aflora la Formación Chos Malal (Cervera y Leanza 2009). Estas rocas fueron interpretadas por Cervera y Leanza (2009) como depósitos sinorogénicos correlacionables con el Conglomerado Tralalhué (Ramos 1998), al cual se le asignó una edad miocena media sobre la base de la presencia de un fósil de notoungulado (Repol *et al.* 2002). En discordancia sobre la Formación Chos Malal se encuentran las rocas sedimentarias epiclásticas y piroclásticas de la Formación Rincón Bayo, de edad miocena media a

superior (Leanza y Hugo 2001). La última unidad reconocida en la región del arroyo Truquico es la Formación Pampa Encima (Leanza y Hugo 2001), de edad pliocena tardía - pleistocena temprana, formada por niveles de conglomerados y areniscas sin evidencias de deformación y dispuesta en discordancia sobre la Formación Rincón Bayo. Finalmente, hacia el este de la localidad de Chos Malal existen grandes extensiones de coladas basálticas plio-cuaternarias relacionadas con el campo volcánico Tromen (Kay *et al.* 2006).

## METODOLOGÍA

Durante las tareas de campo se tomaron alrededor de 200 datos posicionados mediante GPS, los cuales volcados sobre una base de imágenes satelitales de alta resolución permitieron elaborar el mapa geológico utilizando el programa Arcgis 10.2. Sobre este mapa se trazó una sección estructural aproximadamente normal al rumbo de las principales estructuras y subparalela a la línea sísmica 15009, la cual favoreció la interpretación en subsuelo. Las estructuras en la sección geológica fueron reconstruidas aplicando los modelos geométricos de pliegues relacionados a fallas (Suppe 1983, Suppe y Medwedeff 1990, Mitra 1990, Erslev 1991, entre otros), mientras que la restitución se efectuó a través del método de conservación de la longitud de líneas (Dahlstrom 1969). Los espesores de las unidades sedimentarias utilizados en la sección geológica fueron determinados a partir de mediciones de campo, datos de pozos en la región pero ubicados fuera del área de estudio (Bs.Nq.Ch.x-1; Bs.Nq.ChE.x-1; Sj.Nq.Cu.x-1; YPF.Nq.Tm.x-1; YPF.Nq.Pt.1) y trabajos previos sobre la estratigrafía en esta región de la Cuenca Neuquina (Zöllner y Amos 1973, Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995, Leanza *et al.* 2006, etc.).

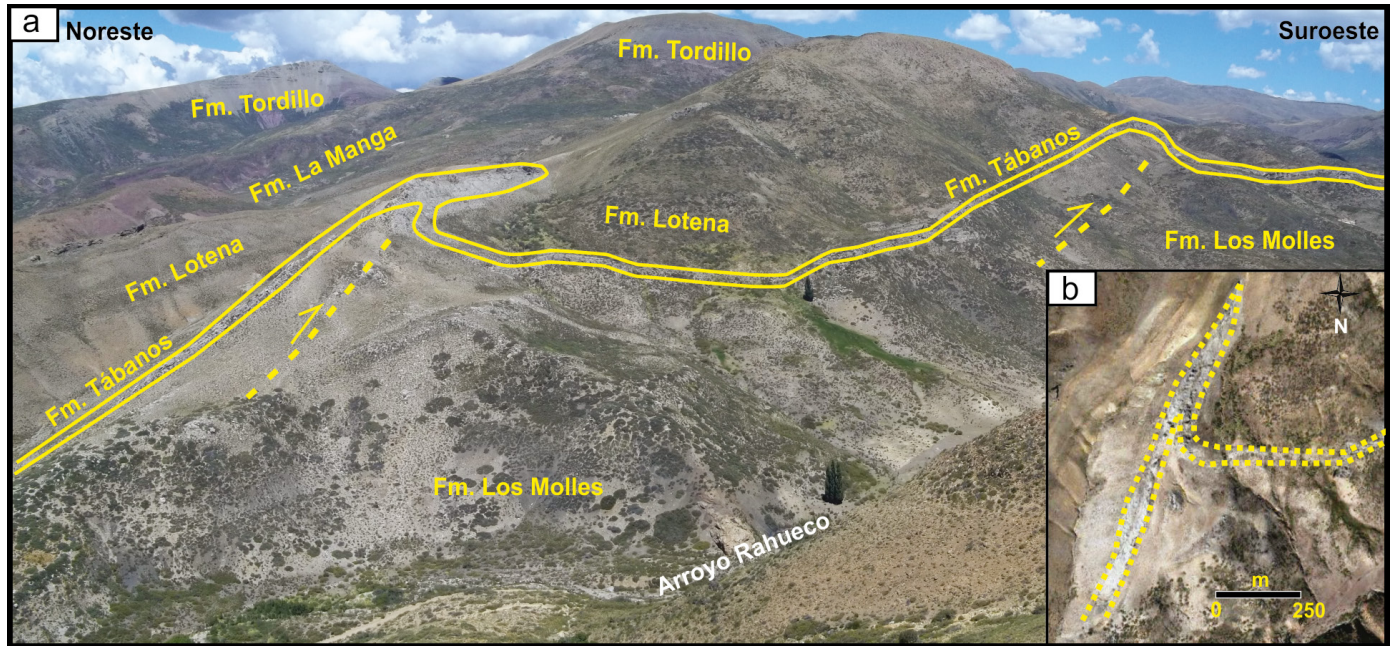
## DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

El mapeo geológico en detalle realizado al sur de la localidad de Chos Malal, entre el cerro Caicayén y el cerro Curacó,

permitió registrar numerosas estructuras tectónicas con un rumbo dominante NNO-SSE (Fig. 3). La longitud de onda de los pliegues relevados posibilitó diferenciar estructuras de distinto orden relacionados a diferentes niveles de despegue en profundidad. A continuación, se detallarán las estructuras más destacadas que caracterizan la región septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio:

### 1. Anticlinal Rahueco

Esta estructura es un gran anticlinorio de aproximadamente 13 kilómetros de longitud de onda, localizada en el arroyo Rahueco al sur del cerro Caicayén, la cual presenta un eje doblemente buzante hacia el noroeste y el sureste (Fig. 3). En el núcleo del pliegue aflora la Formación Los Molles, la cual representa la unidad más antigua expuesta en esta región de la faja corrida y plegada del Agrio. El limbo occidental de la estructura tiene un buzamiento de bajo ángulo ( $10^\circ - 30^\circ$ ) en dirección suroeste, medido en las rocas de los grupos Cuyo, Lotena, y la sección inferior del Grupo Mendoza (formaciones Tordillo y Vaca Muerta). En el limbo frontal del anticlinal afloran las unidades pertenecientes a los grupos Cuyo, Lotena, Mendoza y Bajada del Agrio (Fig. 3). En este flanco oriental de la estructura, las unidades del Grupo Cuyo y Lotena poseen buzamientos de  $35^\circ - 40^\circ$  E, pero a partir del Grupo Mendoza los buzamientos aumentan a  $70^\circ$  y  $80^\circ$  E-NE. A su vez, la Formación Vaca Muerta muestra un plegamiento de menor escala que resultó en dos pares de anticlinales y sinclinales, generando un ancho de afloramiento mayor a 1000 metros. Este incremento en la inclinación de las unidades así como el plegamiento en la Formación Vaca Muerta se deben a la presencia de una serie de retrocorrimientos menores que despegan en la Formación Auquilco y pliegan a la Formación Tordillo y rocas suprayacentes. Además, en el limbo frontal de esta gran estructura anticlinal se observaron dos retrocorrimientos que producen pliegues apretados tipo "Z", ambos con vergencia occidental, particularmente visibles en las capas de la Formación Tábanos (Fig. 4a y b).



**Figura 4:** a) Retrocorrimientos en el limbo frontal del anticlinal Rahueco; b) Imagen satelital del pliegue “Z” en la Formación Tábanos.

## 2. Sinclinal Rahueco

Hacia el este del anticlinal Rahueco se observa un sinclinatorio en cuyo núcleo afloran coladas y brechas volcánicas levemente plegadas, las cuales cubren en discordancia al Grupo Bajada del Agrio (Fig. 3). En el limbo occidental del pliegue las unidades del Grupo Mendoza presentan un buzamiento de  $70^\circ$  en dirección noreste, mientras que la Formación Huitrín posee un buzamiento de  $55^\circ - 60^\circ$  en la misma dirección. En el limbo oriental del sinclinatorio es posible observar un anticlinal apretado, con vergencia al oeste y una longitud de onda de aproximadamente 1 kilómetro, que afecta a las formaciones Agrio, Huitrín y Rayoso (Fig. 3). Hacia el noreste en cercanía de la ruta provincial 6, se halla otro apretado anticlinal también con vergencia occidental que involucra principalmente a las formaciones Agrio y Huitrín. El limbo trasero del anticlinal presenta un buzamiento de  $64^\circ$  al SO y su limbo frontal de  $40^\circ$  al NE. Esta última estructura de vergencia occidental está asociada a un retrocorrimiento que aflora en el flanco oeste del anticlinal (Fig. 3).

## 3. Anticlinal Cerro Pitrén

Hacia el este del sinclinal Rahueco, se localiza una estructura de aproximadamen-

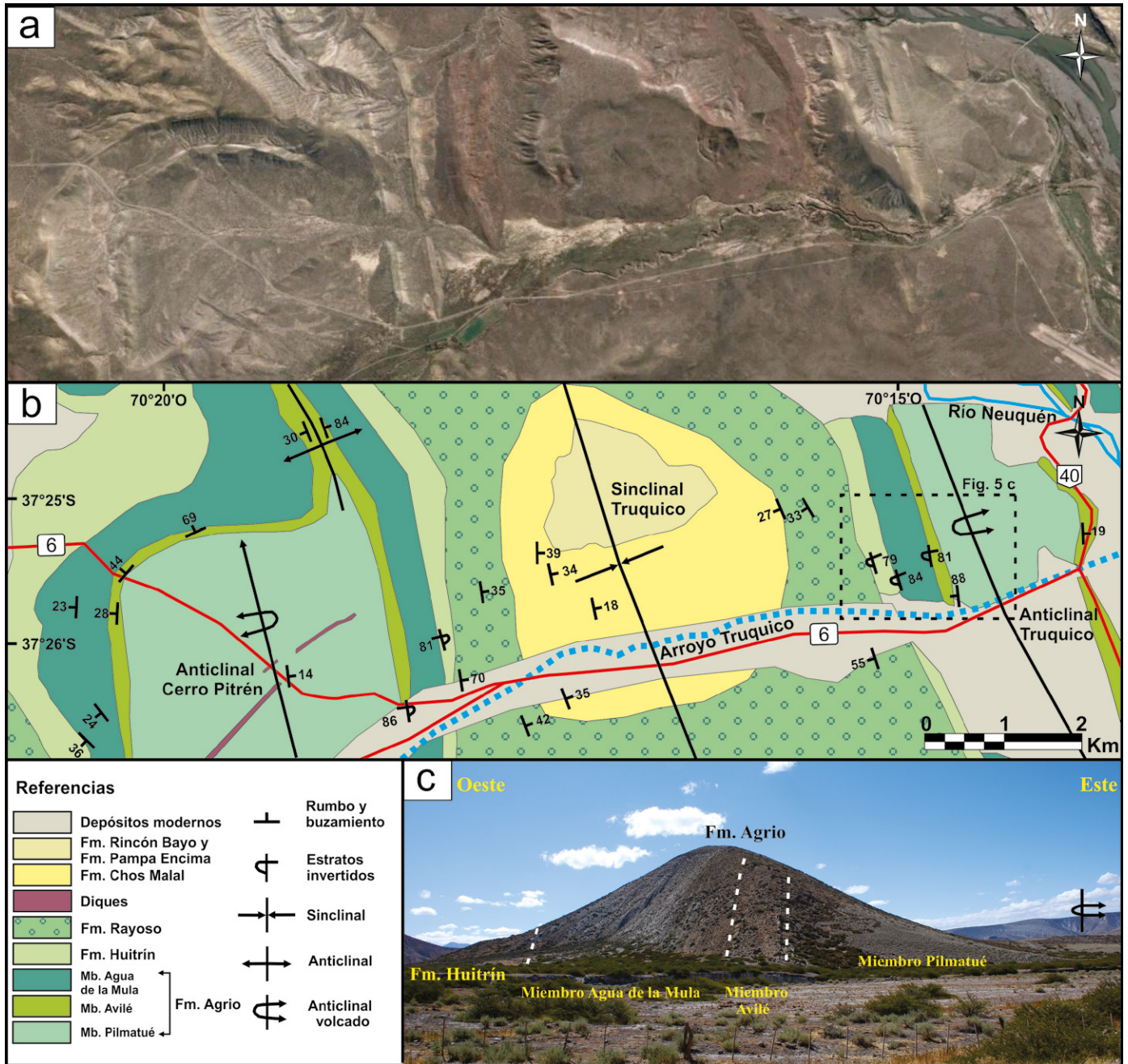
te seis kilómetros de longitud de onda, denominada anticlinal Cerro Pitrén (Cervera y Leanza 2009). En el núcleo del pliegue afloran las areniscas calcáreas de la Formación Mulichinco, mientras que hacia el norte (Fig. 5a) y el sur se halla expuesta la Formación Agrio, evidenciando que el eje de esta estructura es doblemente buzante en esas direcciones. El limbo occidental del anticlinal Cerro Pitrén buza  $25^\circ - 35^\circ$  SO mientras que su flanco oriental presenta buzamientos muy altos e incluso invertidos inclinando hacia el oeste, lo que permite interpretar la vergencia del pliegue en dirección al este (Fig. 5b). Al sur del área de estudio dicho pliegue es cabalgado hacia el este por un corrimiento que localmente alcanza la superficie (Fig. 3). Hacia el norte de la ruta 6 se registran pliegues apretados con dimensiones menores que el anticlinal Cerro Pitrén los cuales afectan a las formaciones Agrio, Huitrín y Rayoso. En las pelitas del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio, sobre la ruta 6, extensos diques andesíticos subverticales de rumbo NE-SO cortan oblicuamente al eje del anticlinal (Fig. 5b).

## 4. Sinclinal Truquico

Esta estructura se ubica al suroeste de la localidad de Chos Malal y en su nú-

cleo afloran las formaciones Chos Malal, Rincón Bayo y Pampa Encima (Cervera y Leanza 2009). En el limbo occidental del pliegue, luego de las capas invertidas del anticlinal Cerro Pitrén, el buzamiento disminuye gradualmente y la Formación Rayoso presenta estratos en posición normal que inclinan entre  $35^\circ$  y  $40^\circ$  hacia el noreste (Fig. 5b). La suprayacente Formación Chos Malal presenta buzamientos similares a los medidos en la Formación Rayoso, los cuales disminuyen gradualmente hacia el núcleo del pliegue. Estas mismas unidades en el limbo oriental del sinclinal Truquico poseen buzamientos del orden de los  $30^\circ$  hacia el oeste (Fig. 5b). Las formaciones Rincón Bayo y Pampa Encima se encuentran subhorizontales y yacen en discordancia angular sobre la Formación Chos Malal. El sinclinal Truquico corresponde a una zona triangular, formada entre el anticlinal Cerro Pitrén de vergencia oriental y el anticlinal Truquico de vergencia occidental (Fig. 5b). Es interesante observar en el sinclinal Truquico la presencia de relieve invertido, en donde el núcleo del pliegue formado por la sedimentitas neógenas presentan mayores alturas que las observadas en sus limbos, en los cuales afloran las pelitas rojizas de la Formación Rayoso.





**Figura 5:** a) Imagen satelital entre los anticlinales Cerro Pitrén y Truquico; b) Mapa geológico del área con los datos estructurales; c) Fotografía de los estratos subverticales que forman el limbo occidental del anticlinal Truquico.

### 5. Anticlinal Truquico

En la intersección entre la ruta nacional 40 y la ruta provincial 6, se encuentra un anticlinal con vergencia al oeste, en cuyo núcleo afloran las pelitas del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio (Fig. 5b). El limbo frontal presenta estratos con ángulos de buzamiento entre 80°-85° en dirección oeste, que en algunos casos llegan a invertirse (Fig. 5c). Adicional-

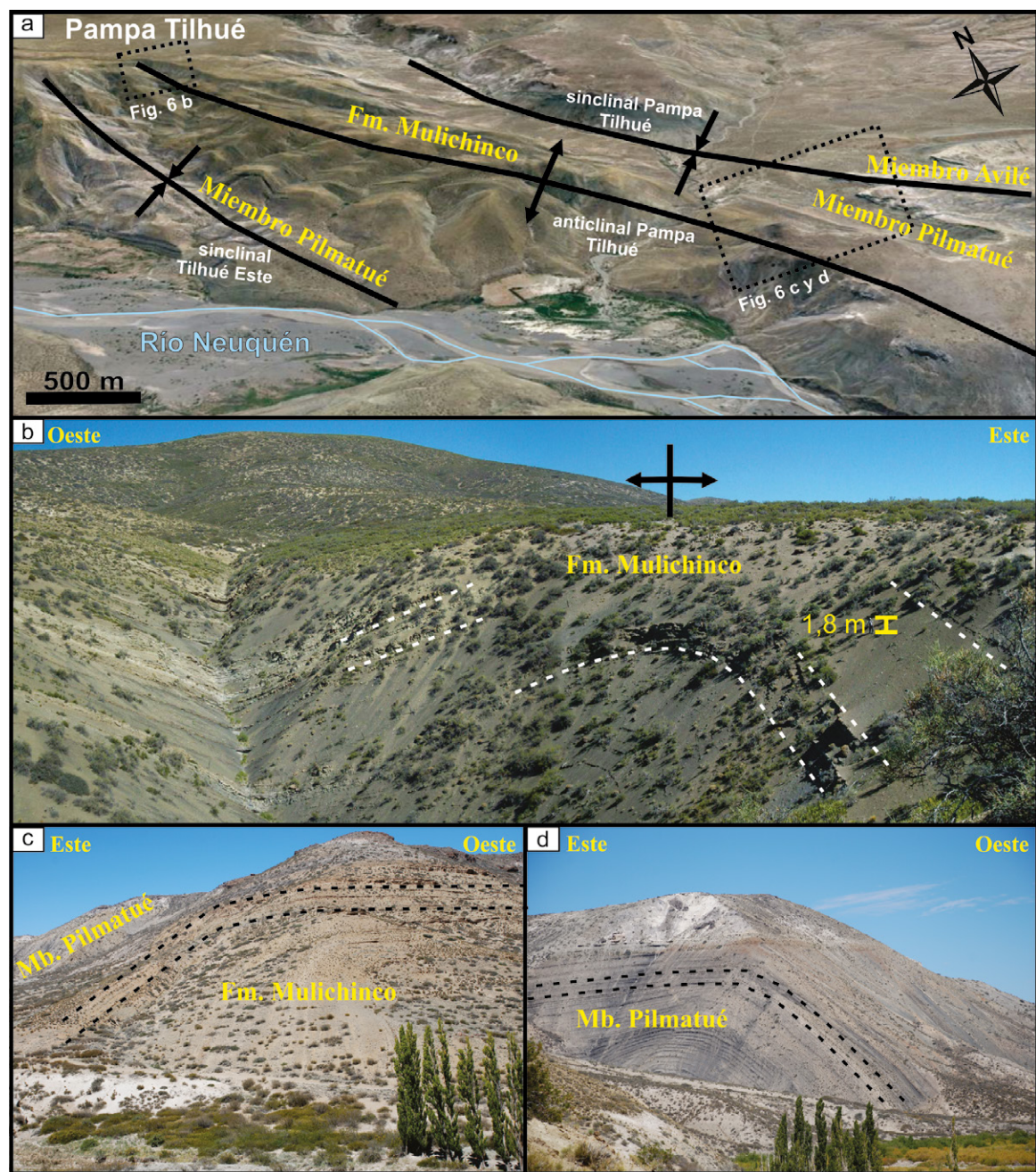
mente, las capas de la Formación Rayoso en este flanco del pliegue se encuentran localmente muy disturbadas evidenciando una importante deformación interna de dicha unidad. El limbo trasero del anticlinal Truquico tiene un buzamiento constante de 20° hacia el este-noreste y se encuentra bien expuesto en los afloramientos del Miembro Avilé sobre la ruta 40 (Fig. 3). Al este del río Neuquén, estos

niveles pertenecientes al Miembro Avilé están plegados formando un sinclinal de rumbo NNO-SSE que aloja en su núcleo a la Formación Huitrín (Fig. 3).

### 6, 7 y 8. Estructuras en la Loma Tilhué

Esta región elevada al este de la localidad de Chos Malal se caracteriza por presentar sinclinales-anticlinales, de 3 a 4 kilómetros de longitud de onda y con rumbo





**Figura 6:** a) Imagen satelital del anticlinal-sinclinal Pampa Tilhué; b) Charnela del anticlinal Pampa Tilhué hacia el norte; c) y d) Limbo oriental y occidental del anticlinal hacia el sur, respectivamente.

NNO-SSE, los cuales involucran principalmente al Grupo Mendoza (Fig. 3). En los núcleos de los anticlinales aflora la Formación Mulichinco, exceptuando el anticlinal Tilhué Este en el cual es posible reconocer además a la Formación Vaca Muerta (Fig. 3). El anticlinal Tilhué Oeste se encuentra en el flanco occidental de la Loma Tilhué. Este pliegue presenta vergencia hacia el oeste, evidenciado por los estratos invertidos del Miembro Avilé buzantes al noreste en su limbo frontal. En la zona central de la Loma Tilhué se loca-

liza el anticlinal Tilhué Este, de vergencia oriental, cuya charnela se observa con claridad en la margen norte del río Neuquén (Fig. 3). Hacia el norte, el pliegue está cortado por un corrimiento buzante al oeste que permitió el ascenso a la superficie de la Formación Vaca Muerta (Fig. 3). Siguiendo hacia el este, se ubican las estructuras denominadas anticlinal-sinclinal Pampa Tilhué (Fig. 6a). En el norte de dicha estructura anticlinal (Fig. 6b), el limbo frontal presenta buzamientos que pasan desde 45° a 80° en dirección noreste,

y su limbo occidental tiene inclinaciones de 56° hacia el suroeste, lo que refleja una vergencia del pliegue hacia el este. Hacia el sur el anticlinal Pampa Tilhué presenta una mayor simetría, con una charnela amplia y subhorizontal y ambos flancos buzantes en el orden de los 60° en sentidos opuestos (Fig. 6c y d). El sinclinal Pampa Tilhué se ubica al este del anticlinal homónimo y en su núcleo aflora el Miembro Agua de la Mula de la Formación Agrio (Fig. 3). El limbo oriental tiene un buzamiento bajo, entre 11° y 18° en dirección



suroeste, mientras que el occidental tiene inclinaciones altas hacia el noreste tal como se mencionó anteriormente en el anticlinal Pampa Tilhué.

## SECCIÓN ESTRUCTURAL

Sobre el mapa geológico se construyó un perfil estructural (X-Y) de aproximadamente 45 km de extensión abarcando las zonas con mayor densidad de datos relevados en campo y las estructuras más representativas de la región (Fig. 3). El extremo oriental de esta sección se dispone subparalelo a la línea sísmica 15009 con el objeto de ajustar con mayor precisión las estructuras en subsuelo. En dicha línea sísmica, al este de la Loma Tilhué, se aprecia que el basamento posee una moderada inclinación hacia el oeste que disminuye hacia el centro de la línea (Fig. 7). Debajo de las reflexiones fuertes y continuas que representarían la secuencia sedimentaria jurásico-cretácica se identificaron una serie de reflectores difusos y con espesores variables, interpretados como depósitos de *sinrift* asignables al Ciclo Precucuyano. Pese a la baja calidad de la línea 15009, es posible reconocer que estos depocentros están relacionados a fallas normales de alto ángulo que no presentan en general evidencias de inversión compresiva. Un alto estructural observado en profundidad debajo del cerro Pitren, con una serie de reflectores infrayacentes engrosados y que conservan aun desplazamiento extensional, puede ser interpretado como una falla normal con reactivación moderada (Fig. 7). Los cambios de pendiente observados al tope del basamento pueden ser parcialmente relacionados a los efectos de la carga tectónica sobre la pendiente regional de la cuenca, pero sin duda la elevación del basamento hacia el sector oriental se debe al desarrollo en profundidad del corrimiento que produce las estructuras Curacó - Las Yeseras fuera del área estudiada en el presente trabajo. En el sector occidental de la línea sísmica la calidad de la información de subsuelo es muy baja y por lo tanto la geometría de las estructuras de basamento en la sección estructural interpretada (Fig. 8)

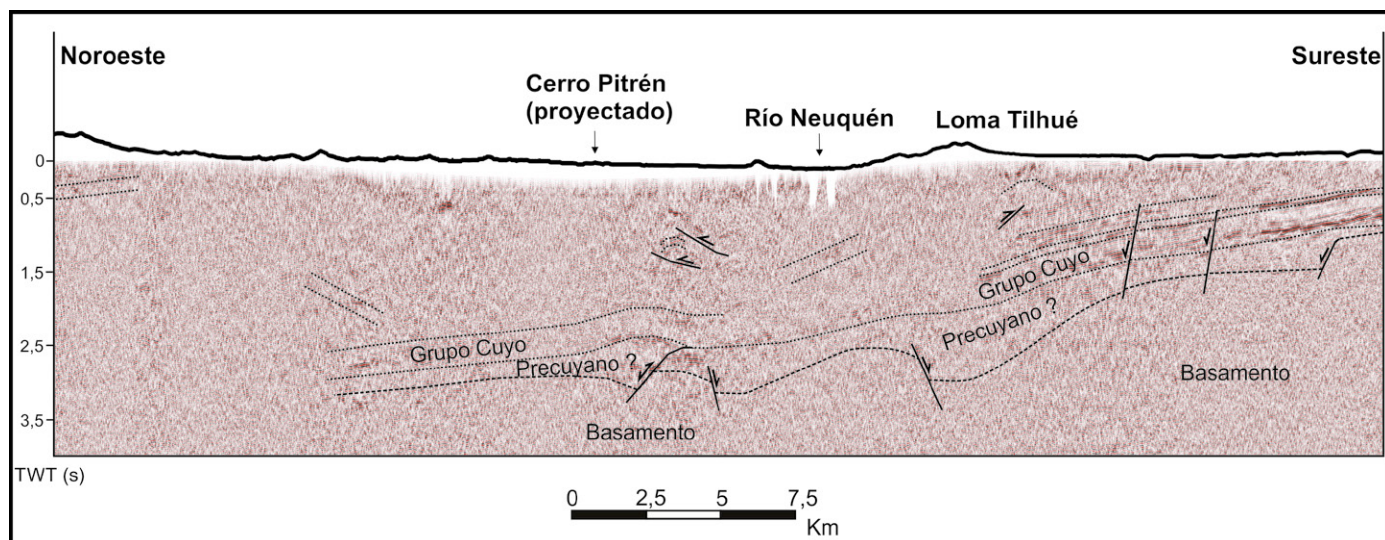
se infirió a partir de las observaciones de superficie. El anticlinal Rahueco se interpretó como una cuña de basamento que asciende por un corrimiento de bajo ángulo buzante al oeste, exponiendo en superficie las unidades jurásicas del Grupo Cuyo (Fig. 8). Esta cuña tectónica se desarrolla como un pliegue por flexión en falla que se desplaza a lo largo de las evaporitas de la Formación Auquileo. Según Minniti *et al.* (1986) este anticlinal de vergencia oriental consecuencia del arrastre producido a través de una rampa generada por una falla inversa con buzamiento al oeste que afecta al basamento. Del mismo modo, Nocioni (1996) considera que el rasgo fundamental de la estructura de basamento en la región de la faja corrida y plegada consiste en la presencia de fallas de corrimientos de bajo ángulo vergentes hacia el este, como consecuencia de los empujes andinos cenozoicos. Las mediciones en ambos limbos de la estructura indican que el eje del pliegue tiene un rumbo NNO-SSE, subparalelo al resto de las estructuras mapeadas en la región (Fig. 3), lo cual contrasta con la orientación ENE-OSO ilustrada en la cartografía preexistente (Minniti *et al.* 1986, Gullisano y Gutiérrez Pleimling 1995). De acuerdo a la interpretación presentada en este trabajo, esta gran estructura braquianticlinal de la región del cerro Caicayén genera el levantamiento tectónico de las unidades basales de la Cuenca Neuquina de un modo similar a la estructura de la Cordillera del Viento en la faja corrida y plegada de Chos Malal. En dicha estructura, al norte del río Neuquén, se produce la exposición de rocas del basamento a partir de una estructura interpretada por algunos autores como una cuña o pliegue por flexión de primer orden (Kozlowski *et al.* 1998, Sánchez *et al.* 2014, Turienzo *et al.* 2014).

En la sección geológica interpretada se consideró un modelo de deformación que relaciona espacial y temporalmente las estructuras de piel gruesa con las estructuras de piel fina, por lo cual las diferentes estructuras están conectadas a través de rampas y llanos que afectan a las distintas unidades geológicas. Este

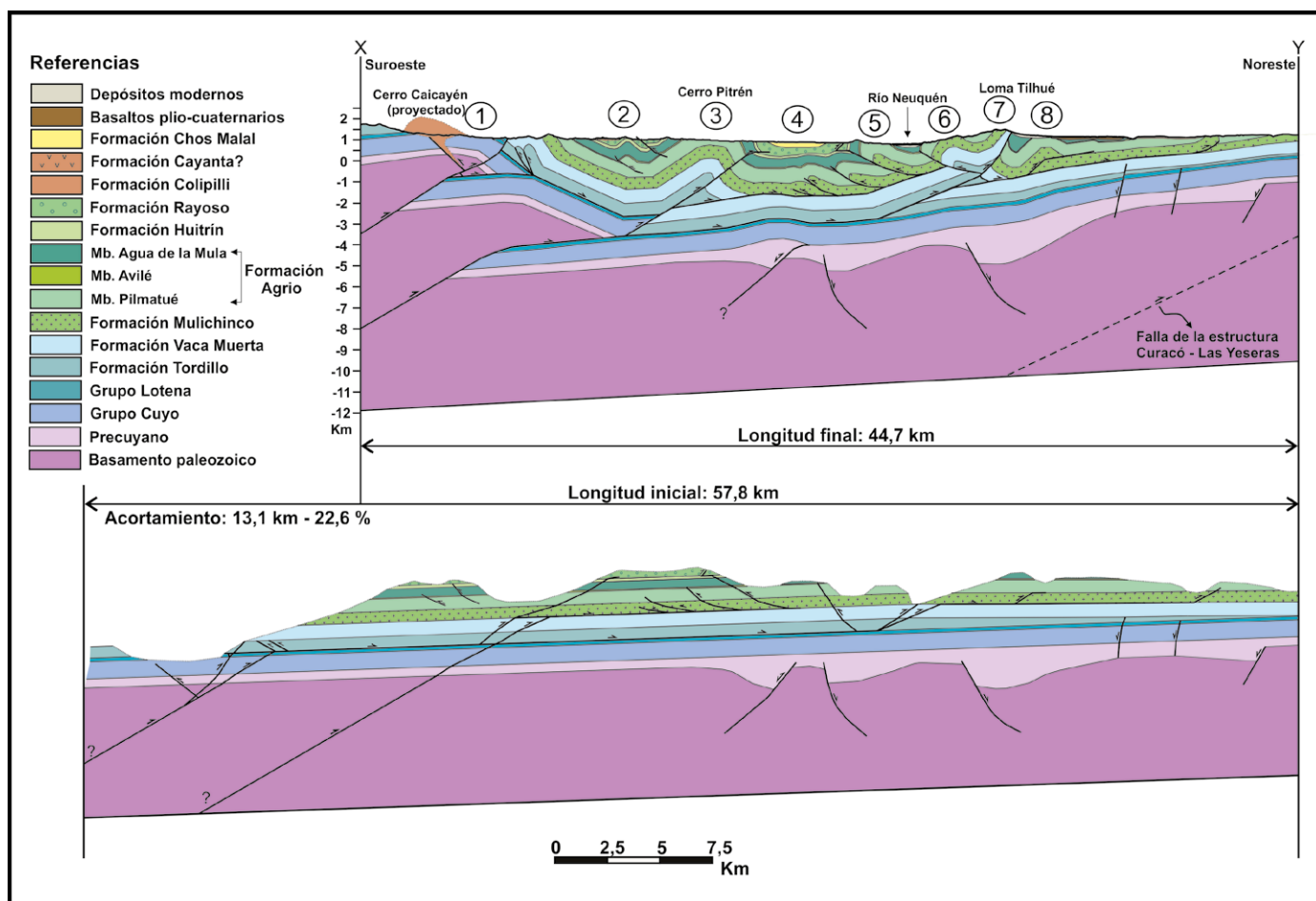
mecanismo implica que los acortamientos registrados en las rocas de la cubierta sedimentaria deben ser equivalentes a los que involucran al basamento. Como la reconstrucción de las estructuras de piel fina es más precisa debido a su buen desarrollo en superficie, se calculó el acortamiento de los niveles sedimentarios y en base a dicho valor se configuraron las estructuras en profundidad. De este modo se infirió la existencia de una segunda cuña de basamento, responsable de generar junto con la cuña anterior el empuje necesario para crear todas las estructuras de piel fina relevadas en este sector de la faja corrida y plegada del Agrio. El acortamiento tectónico calculado a partir de la restitución de la sección estructural es de 13,1 km (22,6%) (Fig. 8). Este valor es coherente con los acortamientos determinados en regiones aledañas, que son de aproximadamente 17,5 km en el área del cerro Mocho (Zapata *et al.* 1999), 9,3 km para el sector entre la Cordillera del Manzano - cerro Naunaucó - Anticlinal Loma Rayoso (Zamora Valcarce 2007), y en el orden de los 15 km en la faja corrida y plegada de Chos Malal (Turienzo *et al.* 2014).

## MODELO CINEMÁTICO

Para comprender más claramente la relación entre las diferentes estructuras interpretadas en la sección geológica (Fig. 8), se propone un modelo de evolución cinemática que ilustra la vinculación espacial y temporal entre los anticlinales Rahueco, Cerro Pitren y Truquico (Fig. 9). Al comenzar la compresión se genera un corrimiento en profundidad que produce una cuña de basamento, considerada una estructura de primer orden, correspondiente al anticlinal Rahueco (Fig. 9a y b). Este corrimiento se emplaza a lo largo de las evaporitas de la Formación Auquileo, al tope del Grupo Lotena, y el desplazamiento transferido por la cuña hacia el antepaís produce un pliegue por flexión de falla que afecta a los grupos Mendoza y Bajada del Agrio (estructura de segundo orden). Dicho pliegue tiene un despegue superior interpretado al techo de la Formación Vaca Muerta, y de esta manera el

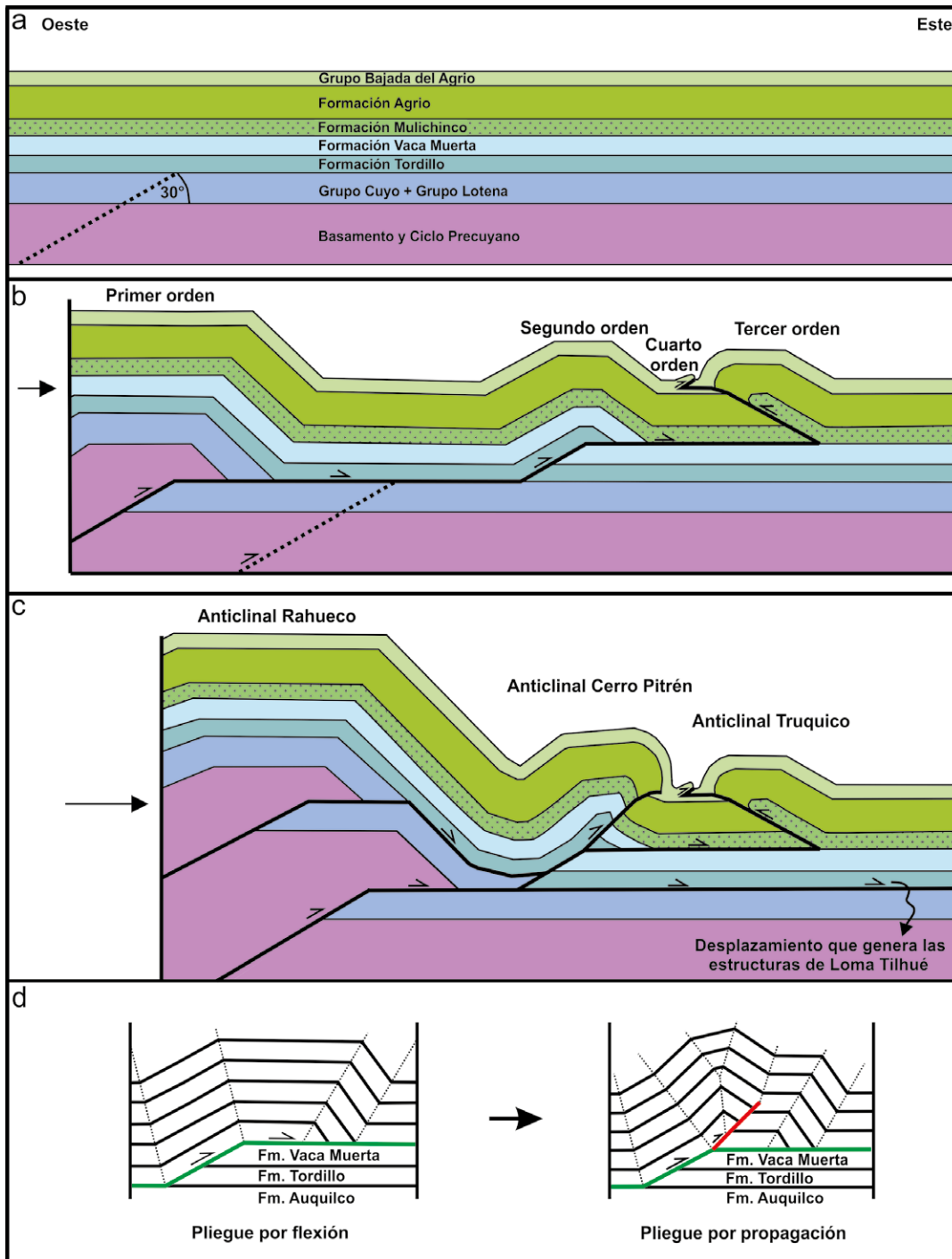


**Figura 7:** Interpretación parcial de un fragmento de la línea sísmica 15009 utilizada para la reconstrucción de las estructuras en la sección estructural. Se pudo reconocer la posición e inclinación del basamento en profundidad, y geometrías de *sinrift* asociadas a fallas normales que mayormente no han sido invertidas por la compresión andina.



**Figura 8:** Sección estructural interpretada a los 37°27' de latitud sur, con su respectiva sección balanceada. El acortamiento tectónico es de 13,1 km (22,6 %). 1. Anticlinal Rahueco. 2. Sinclinal Rahueco. 3. Anticlinal Cerro Pitrén. 4. Sinclinal Truquico. 5. Anticlinal Truquico. 6. Anticlinal Tilhué Oeste. 7. Anticlinal Tilhué Este. 8. Anticlinal Pampa Tilhué.





**Figura 9:** Modelo esquemático de la evolución cinemática de los anticlinales de distinto orden que forman la parte occidental de la sección estructural; a) Estado inicial sin deformar; b) Desarrollo de una cuña de basamento, la cual origina hacia el antepaís pliegues de distintos órdenes en la cubierta sedimentaria; c) Formación de una segunda cuña de basamento que produce el desarrollo final del anticlinal Cerro Pitrén, mediante un fallamiento tardío que se propaga secuencia arriba en las rocas sedimentarias plegadas, y transmite desplazamiento generando las estructuras en el extremo oriental de la sección; d) Modelo de un pliegue por flexión que evoluciona a un pliegue por propagación de falla (Modificado de Mitra 1990).

desplazamiento transmitido a lo largo de ese horizonte posibilita el desarrollo de un pliegue de tercer orden involucrando a las unidades suprayacentes. En la región analizada esta estructura de tercer orden está representada por un retrocorrimento que genera un pliegue por propagación de falla (anticlinal Truquico). En el caso que las fallas asociadas a estos pliegues de tercer orden se inserten a lo largo

de algún nivel de despegue más somero, por ejemplo en las formaciones Rayoso y Huitrín, se forman pliegues muy apretados y de pocas decenas de metros de longitud de onda, consideradas de cuarto orden (Fig. 9b).

Al continuar la compresión se forma un nuevo corrimiento, en secuencia normal hacia el antepaís, generando una segunda cuña de basamento que también se despla-

za sobre un nivel de despegue localizado en la Formación Auquilco (Fig. 9c). Parte de este desplazamiento aprovecha la rampa preexistente del anticlinal del Cerro Pitrén y a partir de allí se propaga secuencia arriba cortando y replegando el limbo frontal del pliegue por flexión (Fig. 9c). El desplazamiento restante, transferido por la segunda cuña de basamento hacia el antepaís, genera las estructuras observadas

en la zona de Loma Tilhué (Fig. 8).

El desarrollo del anticlinal Cerro Pitrén, inicialmente como un pliegue por flexión que luego es cortado por la falla produciendo un plegamiento por propagación (Fig. 9c), es representativo de varias de las estructuras de segundo orden observadas en la faja corrida y plegada. Mitra (1990) denomina a esta compleja clase de estructura como un pliegue por propagación generado a partir de una falla secundaria que sirve para disipar el desplazamiento en una falla preexistente, como por ejemplo, en este trabajo aprovechando la falla del pliegue por flexión (Fig. 9d).

En la región de la Loma Tilhué, las estructuras de piel fina presentan una evolución cinemática de gran complejidad. Con el ascenso de la segunda cuña de basamento se forma inicialmente el retrocorrimiento del anticlinal Tilhué Oeste, con vergencia hacia el oeste, que despega en la Formación Auquilco (Fig. 8). A mayor desplazamiento del basamento mayor acortamiento es transferido hacia el este, generando un pliegue por flexión de falla que origina el anticlinal Tilhué Este. De un modo similar a lo descrito en el modelo cinemático propuesto (Fig. 9), este pliegue por flexión de segundo orden se emplaza en un nivel de despegue superior transmitiendo la deformación necesaria para generar una estructura de tercer orden representada por el anticlinal Pampa Tilhué (Fig. 8). Finalmente, con el progresivo aumento de la deformación, el anticlinal Tilhué Este es cortado por una falla fuera de secuencia buzante al oeste generando una geometría de tipo pop-up en la Loma Tilhué (Fig. 8). En la latitud de la sección estructural, esta falla que fragmenta al pliegue permite la exposición en superficie de la Formación Vaca Muerta (Figs. 3 y 8).

## EDAD DE LA DEFORMACIÓN

De acuerdo a las dataciones y evidencias geológicas presentadas por numerosos autores en la faja corrida y plegada del Agrio, se han podido caracterizar distintos eventos compresionales que dieron

lugar al arreglo actual de las estructuras y a continuación se sintetizarán los principales argumentos que sustentan los diferentes pulsos de contracción reconocidos en la región. Desde el Cretácico hasta el Eoceno, se produce en la región de la Cuenca Neuquina un episodio de deformación que se encuentra bien registrado a partir de depósitos sinorogénicos y por la actividad volcánica. En base a evidencias estratigráficas y estructurales, principalmente una discordancia angular entre las formaciones Huitrín y Rayoso documentada al sur del área de estudio, Cobbold y Rossello (2003) propusieron un inicio de la compresión en el Aptiano en la faja corrida y plegada del Agrio. Por otra parte, numerosos autores consideran que los depósitos sedimentarios del Grupo Neuquén discordantes sobre la Formación Rayoso, serían la respuesta sinorogénica de la deformación cretácica en una cuenca de antepaís (Ramos 1981, Ramos y Folguera 2005, Zamora Valcarce *et al.* 2009). Tunik *et al.* (2010) sobre la base de análisis de circones detríticos de las formaciones Agrio, Rayoso y Candeleros (Grupo Neuquén) en la parte externa de la faja corrida y plegada, determinaron que la deformación en esta región habría comenzado con posterioridad a los 99 Ma. Asimismo, Corbella *et al.* (2004) en base a edades de trazas de fisión sobre circones de la Formación Huincul establecen que la sedimentación del Grupo Neuquén en la cuenca de antepaís debió empezar a los  $88 \pm 3,9$  Ma.

La actividad volcánica cretácica en la Cuenca Neuquina está evidenciada por los diques subverticales del cerro Mocho, con edades Ar/Ar de  $101,9 \pm 0,69$  Ma y  $91,97 \pm 4,06$  Ma (Zamora Valcarce 2007). Según Zamora Valcarce *et al.* (2011) estos diques cortan algunas estructuras de plegamiento y sus edades permitirían acotar con mayor precisión el evento de contracción del Cretácico. Sin embargo, Llambías y Aragón (2011) cuestionan estas edades obtenidas en los diques ya que podrían no representar el tiempo real de la intrusión de los mismos debido a la fuerte alteración presente sobre las plagioclasas que se utilizaron para realizar las dataciones. Otras

edades determinadas por Zamora Valcarce *et al.* (2006) han resultado ser más jóvenes que las anteriormente citadas, donde obtuvieron para el intrusivo del cerro Naunaucó una edad de  $65,5 \pm 0,5$  Ma, y en la región de Colipilli una edad de  $72,8 \pm 0,8$  Ma datada en una bomba volcánica. Zamora Valcarce *et al.* (2011) determina que estas dataciones marcan la edad mínima cretácica tardía para el evento de deformación. En el área de Colipilli, Zamora Valcarce *et al.* (2007) demostraron en base a estudios paleomagnéticos sobre filones capa de edad eocena, que estos se habrían intruido en una secuencia previamente deformada durante Cretácico medio-superior. Posteriormente, estos filones se habrían deformado en conjunto con la roca de caja durante el Mioceno Medio a Tardío (Zamora Valcarce *et al.* 2007). De acuerdo a Ramos y Folguera (2005) este evento de deformación cretácico se correlacionaría con la migración del arco volcánico hasta la región de Colipilli como consecuencia de una suave somerización de la placa de Nazca.

Durante el Mioceno medio-superior, se produce un nuevo evento de deformación compresiva registrado en la faja corrida y plegada del Agrio por los depósitos sinorogénicos de las formaciones Puesto Burgos, Rincón Bayo, Chos Malal y Conglomerado Tralalhué. Esta última unidad ha sido interpretada como acumulada en una cuenca de piggy-back transportada a espaldas del cerro Naunaucó (Ramos 1998). Zamora Valcarce *et al.* (2009) correlacionan los depósitos de las formaciones Puesto Burgos y Rincón Bayo aflorantes en el área de pampa de Agua Amarga con dos eventos de deformación interpretados a partir de trazas de fisión de apatitos obtenidos en el dorso de los Chihuidos, donde identificaron un levantamiento/enfriamiento a los 11 Ma y otro a los 6 Ma. De acuerdo a Kay (2002) y Folguera *et al.* (2007) entre otros, la deformación de edad miocena coincidiría con una nueva horizontalización de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana.

En la región estudiada en este trabajo, a partir del relevamiento de datos y observaciones de campo fue posible reconocer



evidencias de dos eventos de deformación, uno pre-Eoceno y otro Mioceno. El primero estaría acotado por las rocas volcánicas de edad eocena (Llambías y Rapela 1989) del Grupo Naunauco. El intrusivo del cerro Caicayén (44,7 Ma) está alojado en el núcleo del anticlinal Rahueco, donde se han observado evidencias de controles estructurales que han facilitado el emplazamiento del mismo, indicando que las rocas ígneas podrían ser coetáneas al plegamiento o posterior al desarrollo de la estructura de primer orden (Fig. 8). Esto fue observado también por Llambías y Malvicini (1978) en la región de Colipilli donde consideran que el emplazamiento del magmatismo está controlado estructuralmente por el eje del sinclínor de Colipilli. Las rocas volcánicas correlacionables con la Formación Cayanta situadas en el núcleo del sinclinal Rahueco (Fig. 3), dispuestas en discordancia angular sobre la secuencia sedimentaria mesozoica, evidencian un evento de plegamiento previo al volcanismo paleógeno.

El segundo evento compresivo reconocido en la zona de estudio habría ocurrido a partir del Mioceno medio, evidenciado por las sedimentitas de la Formación Chos Malal en la zona triangular del sinclinal Truquico. Además del plegamiento que presentan los estratos de esta unidad se han podido identificar fallas con desplazamiento de pocos metros, lo cual permiten interpretar un evento de deformación más joven que el que dio origen a la depositación sinorogénica de la Formación Chos Malal.

## CONCLUSIONES

En la región septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio en el norte de Neuquén, se destaca la presencia de estructuras de rumbo predominantemente NNO-SSE con variable longitud de onda y formadas por la interacción entre estructuras de piel gruesa y piel fina.

A partir del mapeo de las estructuras en el campo, el relevamiento de numerosos datos estructurales y los datos de subsuelo, se interpretaron dos estructuras con

geometría de cuña que involucran al basamento al oeste de la zona de estudio, mientras que hacia el antepaís se observan numerosos pliegues que afectan solamente a la cubierta sedimentaria. Las cuñas de basamento se desarrollan como pliegues por flexión de falla, que en su ascenso alcanzan las evaporitas de la Formación Auquillo y propagan la deformación hacia el antepaís dando origen a estructuras de menor longitud de onda. Las estructuras de piel fina tienen su nivel de despegue principal localizado en la Formación Auquillo, y niveles secundarios en las formaciones Vaca Muerta, Agrio y Huitrín. Los estilos y geometrías de pliegues han permitido definir cuatro órdenes de plegamiento relacionados a diferentes niveles de despegue, lo cual remarca la complejidad de este sector de la faja corrida y plegada. Las principales estructuras en la cubierta sedimentaria de segundo orden fueron interpretadas como pliegues por flexión en falla que evolucionan a pliegues por propagación de falla. La combinación de estructuras con vergencia variable dio lugar a configuraciones de tipo *pop-up* y zonas triangulares. El sinclinal Truquico se formó en una zona triangular y contiene a los depósitos sinorogénicos de posible edad miocena, los cuales se hallan plegados y con intensa deformación interna. La información de subsuelo disponible permitió reconocer geometrías de *sinrift* asociadas a varias fallas normales sin invertir, de las cuales solo una permite inferir características asociadas a una reactivación compresiva moderada. La presencia de fallas normales sin reactivar, dentro de un contexto fuertemente compresivo, sugiere que el mecanismo de inversión tectónica no tiene una marcada influencia en el estilo estructural que caracteriza a este sector de la faja corrida y plegada del Agrio. El acortamiento tectónico en la sección estructural interpretada a los 37°27' de latitud sur es de 13,1 km (22,6%), valor coherente con otros acortamientos calculados en la región, y es el resultado de una compleja interacción entre grandes cuñas de basamento asociadas a corrimientos que originaron pliegues relacionados a fallas de diverso orden en la

cubierta sedimentaria.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y al INGEOSUR - CONICET por el apoyo logístico y financiero. Este trabajo fue financiado con fondos de PIP CONICET, PGI SECYT-UNS y PICT de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Las detalladas observaciones y sugerencias efectuadas por los revisores Ernesto Cristallini y Francisco Pángaro permitieron mejorar substancialmente este trabajo. Se agradece a la Subsecretaría de Minería e Hidrocarburos de la Provincia del Neuquén por la información de pozos y líneas sísmicas.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguirre Urreta, M.B., Pazos, P.J., Lazo, D.G., Fanning, C.M. y Litvak, V.D. 2008. First U-Pb SHRIMP age of the Hauterivian stage, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 91-99.
- Bracaccini, I.O. 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25: 275-282. Buenos Aires.
- Booth, J. y Coward, M. 1996. Basement faulting and inversión of the NW Neuquén Basin, Argentina. 3° International Symposium on Andean Geodynamics, St. Malo (France), Extended Abstracts, pp. 295-298.
- Cervera, M. y Leanza, H.A. 2009. Hallazgo de sedimentitas sinorogénicas neógenas en los alrededores de Chos Malal, Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 11(1): 15-22. Buenos Aires.
- Cobbold, P. y Rossello, E. 2003. Aptian to recent compressional deformation, foothills of the Neuquén Basin Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 20: 429-443.
- Corbella, H., Novas, F.E., Apesteguía, S. y Leanza, H.A. 2004. First fission track-age for the dinosaur-bearing Neuquén Group (Upper Cretaceous) Neuquén Basin, Argentina. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales (N.S.)* 6: 227-232. Buenos Aires.

- Dahlstrom, C.D.A. 1969. Balanced cross sections: Canadian Journal of Earth Sciences 6: 743-757.
- Danieli, J.C., Coppolecchia, M. y Elisondo, M. 2011. El Grupo Andacollo (Paleozoico Tardío). En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (Eds.), Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, 49-62. Buenos Aires.
- Digregorio, J.H. y Uliana, M. 1980. Cuenca Neuquina. En: J.C.Turner (Ed.), 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 2: 985-1032.
- Erslev, E.A. 1991. Trishear fault-propagation folding: Geology 19: 617-620.
- Fernández, D.E. y Pazos, P.J. 2012. Ichnology of marginal marine facies of the Agrio Formation (Lower Cretaceous, Neuquén Basin, Argentina) at its type locality. Ameghiniana 49: 505-524.
- Folguera, A., Ramos, V.A., Zapata, T. y Spagnuolo, M. 2007. Andean evolution at the Guañacos and Chos Malal fold and thrust belts (36°30'-37°S). Journal of Geodynamics 44: 129-148.
- Groeber, P. 1929. Líneas fundamentales de la Geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección General de Minas Geología e Hidrología, Boletín 18, serie B (Geología), Buenos Aires.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. Hoja Chos Malal. Revista de la Asociación Geológica Argentina 1: 178-208. Buenos Aires.
- Gulisano, C. y Gutiérrez Pleimling, A. 1995. The Jurassic of the Neuquén Basin, a) Neuquén Province. Secretaría de Minería de la Nación, Publicación 158. 111 pp.
- Kay, S.M. 2002. Tertiary to Recent transient shallow subduction zones in the Central and Southern Andes. XV Congreso Geológico Argentino (Calafate), Actas, 3: 282-283.
- Kay, S.M., Burns, M. y Copeland, P. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En Kay, S.M. y Ramos, V.A. (Eds.) Evolution of an Andean Margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35-39°S), Geological Society of America, Special Paper 407: 19-60.
- Kozłowski, E., Cruz, C. y Sylwan, C. 1998. Modelo exploratorio en la faja corrida de la Cuenca Neuquina, Argentina. Boletín de Informaciones Petroleras 55: 4-23.
- Leanza, H.A. 1973. Estudio sobre los cambios faciales de los estratos limítrofes Jurásico-Cretácicos entre Loncopué y Picún Leufú, provincia de Neuquén, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 28: 97-132. Buenos Aires.
- Leanza, H.A. y Hugo, C.A. 2001. Hoja Geológica 3969-I Zapala, Provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 275: 133 p.
- Leanza, H.A., Repol, D., Hugo, C.A. y Sruoga, P. 2006. Hoja Geológica 3769-31 Chorríaca, provincia de Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1:100000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Boletín 354: 1-93. Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Sattler, F., Martínez, R.S., Carbone, O. 2011. La Formación Vaca Muerta y equivalentes (Jurásico tardío - Cretácico temprano) en la Cuenca Neuquina. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (Eds.), Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, 113-129. Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Mazzini, A., Corfu, F., Llambías, E.J., Svensen, H., Planke S. y Galland, O. 2013. The Chachil Limestone (Pliensbachian earliest Toarcian) Neuquén Basin, Argentina: U-Pb age calibration and its significance on the Early Jurassic evolution of southwestern Gondwana. Journal of South American Earth Sciences 42: 171-185.
- Legarreta, L. y Gulisano, C. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En: Chebli, G., Spalletti, L. (Eds.), Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica, vol. 6, Universidad Nacional de Tucumán, 221-243.
- Llambías, E.J. y Malvicini, L. 1978. Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, provincia del Neuquén, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 33: 257-276. Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W. 1989. Las vulcanitas de Colipilli, Neuquén, y su relación con otras unidades paleógenas de la Cordillera. Revista de la Asociación Geológica Argentina 44: 224-236. Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Aragón, E. 2011. Volcanismo Paleógeno. In: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (Eds.), Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, pp. 265-274. Buenos Aires.
- Llambías, E., Leanza, H. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en Cordillera del Viento (37° 5'S - 37° 15'S): Nuevas Evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 62: 217-235. Buenos Aires.
- Minniti, S., Gutiérrez Pleimling, A., Artega, M. y Pestalardo, F. 1986. Análisis estructural y estratigráfico de la Faja Plegada Neuquina a la latitud de 37°30', Departamentos de Ñorquin y Pehuenches, provincia de Neuquén. Informe Gerencia General de Exploración (YPF), Subgerencia de Geología, Comisión Geológica n°1, 64 p. (inédito).
- Méndez, V., Zappettini, E. y Zanettini, J.C. 1995. Geología y metalogénesis del Orógeno Andino Central, República Argentina. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Anales 23: 1-190. Buenos Aires.
- Mitra, S. 1990. Fault-Propagation Folds: Geometry Kinematic Evolution, Hydrocarbon Traps. 1990. American Association of Petroleum Geologists Bulletin V. 74: 921-945.
- Nocioni, A.D. 1996. Estudio estructural de la Faja Plegada y Corrida de la Cuenca Neuquina-Surmendocina. 13° Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 353-372. Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1978. Estructura. En: Yrigoyen, M.R. (Ed.): Geología y Recursos Naturales del Neuquén. 7° Congreso Geológico Argentino, Relatorio p. 99-118. Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. Boletín del Servicio Geológico Nacional 182 (escala 1:200.000), 103 p. Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1998. Estructura del sector occidental de la faja plegada y corrida del Agrio, cuenca Neuquina, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 105-110. Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: Constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En Spalletti, L., Veiga, G., Schwarz, E. y Howell, J. (Eds.) The Neuquén



- Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics, Geological Society, Special Publications 252: 15-35. London.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, 4: 458-488.
- Repol, D., Leanza, H.A., Sruoga, P. y Hugo, C.A. 2002. Evolución tectónica del Cenozoico de la comarca de Chorríaca, Provincia del Neuquén, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas en CD. El Calafate.
- Rojas Vera, E., Folguera, A., Zamora Valcarce, G., Bottesi, G. y Ramos, V. 2014. Structure and development of the Andean system between 36° and 39°S. *J. Geodynamics* 73: 34-52.
- Sánchez, N.P., Turienzo, M.M., Dimieri, L.V., Araujo, V.S. y Lebinson, F. 2014. Evolución de las estructuras andinas en la faja corrida y plegada de Chos Malal: interacción entre el basamento y la cubierta sedimentaria de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71: 233-246. Buenos Aires.
- Stipanovic, P.N., Rogrigo, F., Baulies, O.L. y Martínez, G. 1968. Las formaciones presenonianas del denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 23: 367-388. Buenos Aires.
- Suppe, J. 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science* Vol. 283: 684-721.
- Suppe, J. y Medwedeff, D. 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding: *Eclogae Geologicae Helvetiae* 83: 409-454.
- Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V.A. 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquen basin: Constraints on the Andean uplift from U-Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489: 258-273.
- Turienzo, M., Sánchez, N., Dimieri, L., Lebinson, F. y Araujo, V. 2014. Tectonic repetitions of the Early Cretaceous Agrio Formation in the Chos Malal fold-and-thrust belt, Neuquén basin, Argentina: geometry, kinematics and structural implications for Andean building. *Journal of South American Earth Sciences* 53: 1-19.
- Veiga, G.D., Spalletti, L.A. y Flint, S. 2002. Aeolian/fluvial interactions and high-resolution sequence stratigraphy of a non-marine lowstand wedge: the Avilé Member of the Agrio Formation (Lower Cretaceous), central Neuquén Basin, Argentina. *Sedimentology* 49: 1001-1019.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Weisink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En *Petroleum Basins of South America*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Viñes, R.F. 1985. Estilos estructurales en la faja occidental neuquina. YPF S.A, 6pp (Inédito).
- Zamora Valcarce, G. 2007. Estructura y cinemática de la faja plegada del Agrio. Tesis doctoral. 304 pp. Universidad de Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Delpino, D. y Ansa, A. 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt. En Kay, S.M. y Ramos, V.A. *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S lat)*, Geological Society of America, Special Paper 407: 125-145.
- Zamora Valcarce, G., Rapalini, A.E. y Spagnuolo, C.M. 2007. Reactivación de estructuras cretácicas durante la deformación miocena, faja plegada del Agrio, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62: 299-307. Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Ramos, V.A., Rodríguez, F. y Bernardo, L.M. 2009. Evolución tectónica del Frente Andino en Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 192-203. Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T. y Ramos, V.A. 2011. La faja plegada y corrida del Agrio. In: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C., Vallés, J.M. (Eds.), *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, 367-374. Buenos Aires.
- Zapata, T. R. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andean fold and thrust belt of the southern Neuquén Basin, Argentina. En Veiga, G., Spalletti, L., Schwarz, E. y Howell, J. (eds.) *The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*, Geological Society, Special Publications 252: 37-56. London.
- Zapata, T., Brissón, I. y Dzelalija, F. 1999. La estructura de la faja plegada y corrida andina en relación con el control del basamento de la Cuenca Neuquina. *Boletín de Informaciones Petroleras* 60: 113-121.
- Zapata, T.R., Córscico, S., Dzelalija, F. y Zamora Valcarce, G. 2002. La faja plegada y corrida del Agrio: Análisis estructural y su relación con los estratos terciarios de la Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de exploración y desarrollo de Hidrocarburos. Actas electrónicas, Mar del Plata.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 143: 91 p. Buenos Aires.

Recibido: 16 de diciembre, 2014

Aceptado: 23 de mayo, 2015